

ANALISIS PENGARUH SINTILASI IONOSFER TERHADAP AKURASI PENENTUAN POSISI ABSOLUT PADA *GLOBAL POSITIONING SYSTEM* (GPS)

Yeny Wiyanti¹, Dwi Fadila K, ST., M.T.², M. Fauzan Edy Purnomo, ST., MT³, Asnawi, M.Sc⁴
¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ⁴Peneliti Bidang IonTelkom LAPAN Bandung

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

Abstrak - Penelitian ini membahas tentang analisis pengaruh dari fenomena sintilasi di lapisan ionosfer terhadap akurasi pengukuran posisi pada *Global Positioning System* (GPS). Sebelum sinyal satelit GPS yang berupa gelombang elektromagnetik mencapai bumi, maka sinyal tersebut harus melalui lapisan ionosfer. Karena perubahan kerapatan elektron di lapisan F ionosfer, sinyal yang ditransmisikan dari satelit ke penerima GPS mengalami penurunan intensitas daya serta gangguan pada amplitudo dan fasanya. Dengan adanya penelitian ini maka, mitigasi pengaruh kemunculan sintilasi terhadap akurasi posisi dapat dilakukan dengan cara menghindari pengukuran GPS yang memerlukan ketelitian tinggi pada waktu-waktu tersebut untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih baik. Penelitian ini menggunakan data standar GPS RINEX. Metode penentuan posisi menggunakan metode absolut yaitu satu penerima GPS di titik lokasi Stasiun Tetap Cibinong milik BIG dengan lintang dan bujur (6.49° LS, 106.84° BT). Dengan metode absolut akan lebih mudah untuk melihat seberapa besar metode ini mampu mengatasi efek sintilasi. Besar kesalahan pengukuran posisi ditentukan oleh besar atau tidaknya nilai indeks sintilasi (S_4). Berdasarkan data *ground track*, saat terjadi sintilasi lemah dengan indeks sintilasi $S_4 < 0.2$, kesalahan pengukuran data posisi *ground track* dibawah 5 meter. Sedangkan, pada saat terjadi sintilasi kuat dengan nilai indeks sintilasi $S_4 > 0.5$ didapatkan kesalahan pengukuran mencapai 12 meter. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, semakin besar indeks sintilasi (S_4) maka kesalahan pengukuran posisi yang di terima di *receiver* semakin tinggi.

Kata Kunci - *Global Positioning System* (GPS), sintilasi ionosfer, indeks sintilasi, GPS RINEX

I. PENDAHULUAN

Dari waktu ke waktu, pengguna sistem komunikasi gelombang radio semakin meningkat pesat. Perkembangan ini disertai oleh semakin meningkatnya permintaan agar kinerja sistem komunikasi ini semakin baik. Terutama pada sistem navigasi, yang saat ini sebagian besar telah menggunakan teknologi satelit. seperti *Global Positioning System* (GPS).

Sebelum sinyal satelit yang berupa gelombang elektromagnetik mencapai bumi, maka sinyal tersebut harus melalui ionosfer. Salah satu faktor yang menyebabkan gangguan pada sinyal gelombang radio saat ditransmisikan dari satelit ke penerima GPS adalah adanya fenomena sintilasi (*scintillation*) pada lapisan

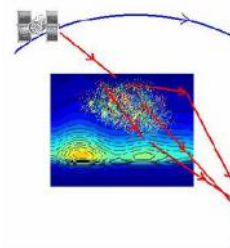
ionosfer.

Pada penelitian ini, penulis melakukan analisis karakteristik kemunculan sintilasi serta pengaruhnya terhadap akurasi pengukuran posisi dengan menggunakan data RINEX GPS Bako stasiun tetap Cibinong milik Badan Informasi Geospasial (BIG) periode 2013. Hasil analisis dari data tersebut digunakan untuk melihat dampak dari kejadian sintilasi terhadap ketelitian pengukuran posisi pada GPS dengan melihat data posisi dan *ground track* GPS. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar indeks sintilasi (S_4) maka kesalahan pengukuran posisi yang dihasilkan semakin tinggi. Dimana penulis menggunakan metode studi kasus agar penganalisaan menjadi lebih efektif dan efisien.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Lapisan ionosfer kira-kira terletak di ketinggian 90 km sampai 1200 km diatas permukaan bumi. Pada lapisan ini terdapat molekul-molekul dan atom-atom yang terpecah dan membentuk sekumpulan partikel bermuatan berupa elektron dan ion akibat pengaruh radiasi Extreme Ultra Violet (EUV) matahari. Elektron-elektron bebas di lapisan ionosfer dapat mempengaruhi perambatan gelombang radio. Jumlah elektron dan ion bebas pada lapisan ionosfer ini bergantung pada besarnya intensitas radiasi matahari serta densitas gas pada lapisan tersebut. Makin besar densitas elektron, makin tinggi kecepatan perambatannya^[1].

Ionospheric scintillation atau sintilasi ionosfer merupakan gejala menurunnya daya atau intensitas sinyal gelombang radio setelah melalui ionosfer. Penurunan ini berlangsung dalam selang waktu yang pendek dan terjadi beberapa saat setelah matahari terbenam yang mengakibatkan sinyal berfluktuasi tinggi, sehingga mengganggu komunikasi. Sintilasi ionosfer terjadi akibat perubahan kerapatan elektron pada lapisan F ionosfer. Kemunculan sintilasi ionosfer diindikasikan dengan kemunculan gelembung plasma (*plasma bubble*) setelah matahari terbenam^[2].



Gambar 1 Sinyal satelit yang melewati ionosfer terganggu akibat sintilasi ionosfer^[2]

Fenomena sintilasi ionosfer dapat mengakibatkan sinyal dari satelit GPS akan mengalami fluktuasi yang cepat pada amplitudo dan fasa sinyalnya saat diterima di

receiver akibat ketidakaturan (irregularitas) kerapatan elektron medium ionosfer. Sehingga penerima GPS tidak menerima informasi posisi secara akurasi dan presisi^[3].

Kemunculan sintilasi ionosfer dapat menyebabkan fading pada daya sinyal, *cycle slip*, *loss of lock*. *Cycle slip* adalah ketidak kontinyuan jumlah gelombang penuh dari fase gelombang pembawa yang diamati, karena koneksi antara satelit dan receiver terputus saat pengamatan sinyal. Sedangkan *loss of lock* yaitu penerima kesulitan melakukan penguncian sinyal satelit. Dua daerah dengan kemunculan sintilasi ionosfer yang paling sering adalah daerah kutub dan ekuator^[3].

Gangguan sintilasi ionosfer dinyatakan dengan indeks sintilasi ionosfer yaitu indeks S_4 dan $\sigma\phi$ yang masing-masing menyatakan intensitas amplitudo sintilasi dan fasa sintilasi. Namun demikian, informasi S_4 sudah cukup menyatakan adanya gangguan sintilasi ionosfer. Gangguan sintilasi dengan indeks $S_4 > 0.25$. Sedangkan, indeks sintilasi $S_4 > 0.5$ menyatakan sintilasi dengan gangguan kuat yang berdampak serius pada komunikasi satelit.

Penentuan posisi secara absolut (*absolute positioning*) adalah metode penentuan posisi yang paling mendasar dari GPS. Titik yang ditentukan biasanya dalam keadaan diam (mode statik) maupun dalam mode gerak (mode kinematik).

Tabel 1 Metode-metode Penentuan posisi dengan GPS^[5]

Metode	Absolut (1 receiver)	Differensial (2 receiver)	Titik	Receiver
Statik	✓	✓	Diam	Diam
Kinematik	✓	✓	Bergerak	Bergerak
Rapid Statik		✓	Diam	Diam (singkat)
Pseudo kinematik		✓	Diam	Diam dan bergerak
Stop and go		✓	Diam	Diam dan bergerak

III. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penentuan data yang akan digunakan, cara pengambilan data, menentukan parameter data yang akan dianalisis dan cara analisis yang digunakan, serta kerangka analisis masalah yang disajikan dalam bentuk diagram alir.

Data-data yang diperlukan dalam kajian ini berupa data primer dan sekunder.

Data sekunder didapat dari buku referensi, jurnal, skripsi, internet, dan forum-forum resmi untuk menunjang penulisan skripsi ini antara lain bahan yang mendasari konsep-konsep terkait dengan pengaruh sintilasi ionosfer terhadap akurasi penentuan posisi absolut pada GPS. Berikut penjelasan mengenai data, perangkat serta *software* yang digunakan dalam penelitian ini :

- Data untuk melihat kesalahan posisi dari pengukuran GPS dengan menggunakan data GPS frekuensi ganda yaitu data RINEX observasi dan navigasi GPS Bako stasiun tetap Cibinong milik Badan Informasi Geospasial (BIG) dengan lintang dan bujur (6.49° LS, 106.84° BT). Data diunduh dari halaman SOPAC (*Scripps Orbit and permanent Array Center*), yaitu di <http://sopac.ucsd.edu/> atau

[ftp archive: ftp://garner.ucsd.edu](ftp://garner.ucsd.edu).

- Perangkat yang digunakan adalah Trimble's model 4000SST/E GPS *surveyor dual band* tipe geodetik dual frekuensi yang menangkap sinyal frekuensi ganda f_1 (1575,42 MHz) dan f_2 (1227,26 MHz) dari satelit GPS dan secara kontinyu akan merekam dua sinyal *pseudo-range* P_1 dan P_2 dan fasa L_1 dan L_2 di stasiun Cibinong dengan lintang dan bujur (6.49° LS, 106.84° BT) dengan sampling 0.5 menit, sudut elevasi (*cutoff*) > 30 untuk menghindari efek kesalahan *multipath*.



Gambar 2. GPS receiver Trimble model 4000SST/E GPS dual band tipe geodetik^[7]

- Antena yang digunakan adalah antena GPS Trimble tipe 4000ST model TRM14532.00 dual frekuensi 1227,6 – 1575,42 MHz jenis *Choke Ring*.



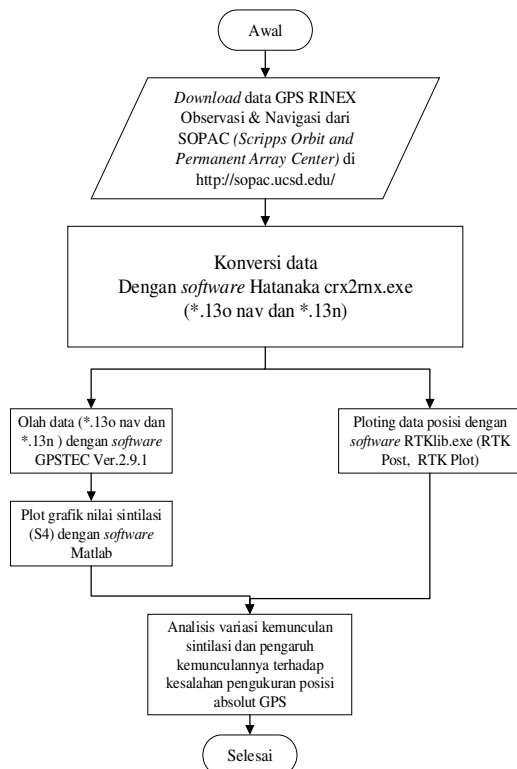
Gambar 3. GPS Trimble's tipe 4000ST model TRM14532.00^[7]

- Metode penentuan posisi GPS yang digunakan adalah absolut dalam mode statik menggunakan satu receiver yaitu GPS Bako stasiun Cibinong.
- Data GPS RINEX yang *download* berupa data observasi dan navigasi dalam format biner yang kemudian diekstraksi menggunakan *software* GPSTEC versi 2.9.1 hingga menjadi file dengan *extension* *.cmn dalam format text. Keseluruhan parameter yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. GPS RINEX Extracted Data fields

Input Field #	Data	Unit
1	Julian Date (JDate)	N/A
2	Time	Hour (UT)
3	PRN	N/A
4	Elevation	degrees
5	Latitude	degrees
6	Longitude	degrees
7	S4	dimensionless

- Pengolahan data menggunakan *software* Hatanaka *crx2rmx.exe*, GPSTEC Versi 2.9.1, ParsISMR.exe versi 1.4.1.0, RTKlib.exe (RTK *Post* dan RTK *Plot*), Ms.Dos, Microsoft excel 2007, dan Matlab R2008a.
- Metode analisis data yang dilakukan adalah menganalisis data primer dari hasil penelitian dan kajian dari data sekunder yang disesuaikan dengan standar yang digunakan untuk kemudian dianalisis. Langkah-langkah pengambilan data, pengolahan data dan analisis dijelaskan pada diagram alir gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir pengolahan dan analisis data

IV. HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Data yang disajikan dari hasil penelitian meliputi variasi kemunculan sintilasi yang akan ditampilkan dalam variasi kejadian harian dan musiman serta analisis data posisi dari GPS Bako Stasiun tetap Cibinong.

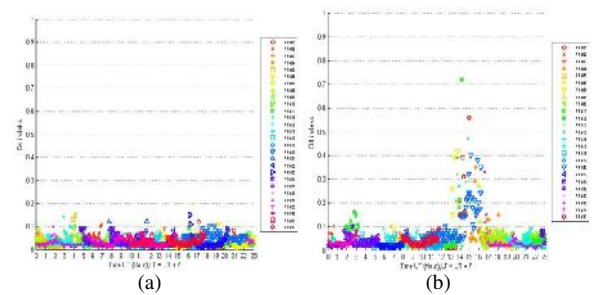
A. Variasi kejadian sintilasi ionosfer di area Cibinong Jawa Barat

Data yang digunakan untuk melihat variasi kemunculan sintilasi yaitu data RINEX GPS Bako stasiun tetap Cibinong milik BIG dengan lintang dan bujur (6.49° LS, 106.84°BT). Berdasarkan hasil data diperoleh kemunculan sintilasi untuk setiap sinyal satelit yang *visible* dalam satu hari pengamatan dengan sampling 0.5 menit dan sudut elevasi (*cutoff*) > 30° untuk menghindari efek kesalahan akibat *multipath*.

1. Variasi kejadian sintilasi ionosfer harian

Variasi harian kemunculan sintilasi ionosfer ditunjukkan pada Gambar 8.

Gambar 8 adalah contoh indeks sintilasi dari 30 satelit (PRN, *Pseudo Random Noise*) selama satu hari pengamatan pada tahun 2013. Gambar 5 (a) adalah contoh kasus kemunculan sintilasi lemah pada 9 Januari 2013. Sedangkan grafik pada Gambar 5(b) menunjukkan contoh kasus kemunculan sintilasi pada kategori kuat dengan indeks $S_4 > 0.5$ yang terjadi pada tanggal 9 April 2013. Sintilasi kuat pada tanggal tersebut terjadi sekitar pukul 14:00 UT hingga 17:00 UT atau sekitar pukul 21:00 WIB hingga 24:00 WIB. Dalam rentang waktu tersebut beberapa sinyal satelit mengalami sintilasi, yaitu satelit nomor 1 (PRN01), 4 (PRN04), 7 (PRN07), nomor 11 (PRN11), 13 (PRN13), nomor 20 (PRN20) dan 28 (PRN28).



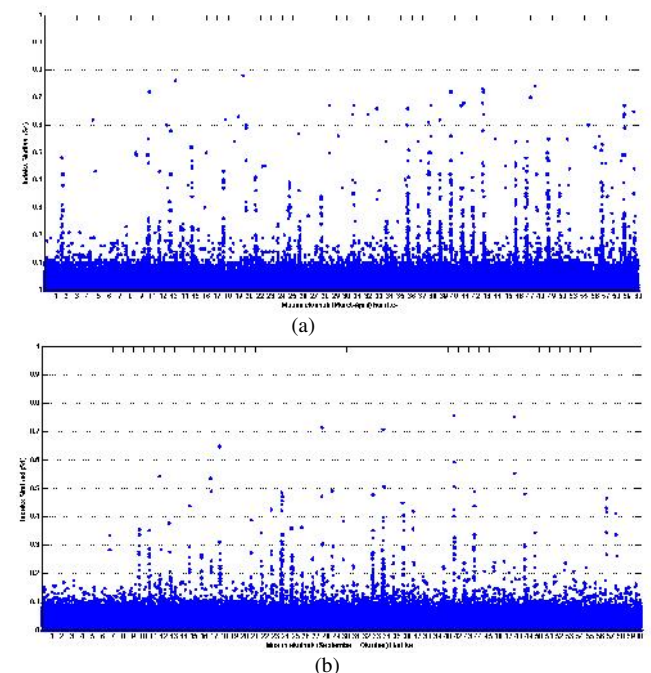
Gambar 5. Kejadian sintilasi lemah yang terjadi pada tanggal 9 Januari 2013 (a), dan sintilasi kuat yang terjadi pada tanggal 9 April 2013 (b)

Kemunculan sintilasi setelah matahari terbenam (*post sunset*) di daerah ekuator disebabkan oleh fenomena ketidakteraturan (irregularitas) plasma pada lapisan ionosfer. Setelah matahari terbenam, ketinggian lapisan F di ionosfer daerah ekuator semakin meninggi sehingga terbentuk gradien kerapatan plasma pada bagian bawah lapisan F. Hal ini disebabkan bergabungnya lapisan F1 dengan lapisan E ditambah dengan peningkatan kuat medan listrik kearah timur yang dikenal sebagai fenomena *Pre Reversal Enhancement* (PRE).

B. Variasi kejadian sintilasi musiman

Berdasarkan studi-studi sebelumnya, kemunculan sintilasi memiliki variasi musiman. Variasi kejadian sintilasi ionosfer akan disajikan dalam musiman berdasarkan kedudukan matahari yang relatif terhadap sintilasi memiliki variasi musiman. Variasi kejadian sintilasi ionosfer akan disajikan dalam musiman berdasarkan kedudukan matahari yang relatif terhadap bumi yaitu *summer solstice*, *winter solstice*, dan *equinox*. Dalam Penelitian ini kemunculan sintilasi ionosfer hanya akan ditekankan pada musim ekuinok.

Equinox terjadi dibulan Maret, April, September dan Oktober ketika kedudukan matahari berada dibagian ekuator bumi.



Gambar 6. Kemunculan sintilasi ionosfer pada musim *equinox* yaitu pada Maret-April (a) dan September-Oktober (b)

Kemunculan fenomena sintilasi ionosfer pada musim ini diperlihatkan seperti pada gambar 6. Karakteristik kemunculan sintilasi ionosfer pada musim *equinox* bulan Maret-April dan September-Oktober

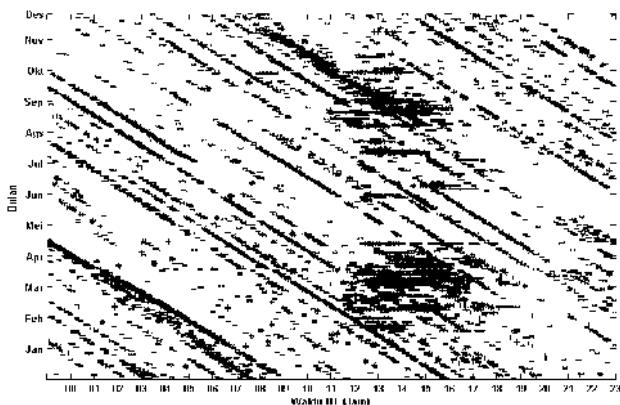
ditunjukkan pada Gambar 6(a) dan 6(b) yang dikategorikan sebagai sebagai sintilasi kuat dengan nilai indeks sintilasi $S_4 > 0.5$ pada keseluruhan bulan di musim tersebut. Namun hal tersebut tidak terjadi pada setiap hari di bulan tersebut.

Dari keseluruhan musim, kejadian sintilasi didominasi pada bulan *equinox*. Dimana pengaruh musim ekuinoks juga terjadi saat aktivitas matahari minimum. Peningkatan sintilasi ionosfer di bulan *equinox* terkait dengan terminator matahari (*solar terminator*) dan meridian medan magnet. Dilaporkan oleh Tsunoda (1985) bahwa selama musim *equinox*, terminator matahari sejajar dengan meridian magnet^[4].

3. Kejadian sintilasi ionosfer selama satu tahun.

Selanjutnya data penelitian disajikan pada Gambar 7 dengan menampilkan kemunculan sintilasi dalam bentuk kontur selama satu tahun pengamatan.

Meski agak samar, namun terlihat bahwa pada bulan-bulan *equinox* kejadian sintilasi relatif lebih tinggi dibanding bulan-bulan lainnya. Pada wilayah Indonesia, sintilasi ionosfer akan sering terjadi pada bulan-bulan ekuinok. Karena, Indonesia merupakan wilayah yang dilewati garis khatulistiwa.



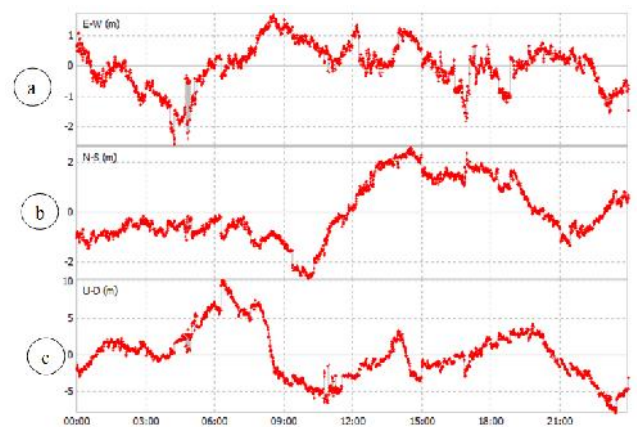
Gambar 7. Kemunculan sintilasi selama satu tahun pada 2013

B. Analisis pengaruh kejadian sintilasi ionosfer terhadap akurasi pengukuran posisi absolut pada GPS

Analisis kesalahan posisi dari pengukuran GPS yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data GPS frekuensi ganda yaitu data observasi dan navigasi GPS BAKO stasiun tetap Cibinong BIG dengan lintang dan bujur (-6.49° LS, 106.84° BT). Data yang dianalisis yaitu data posisi dan *ground track* GPS BAKO pada tanggal 9 Januari 2013 dan tanggal 9 April 2013 sesuai dengan kasus yang diperlihatkan pada Gambar 5.

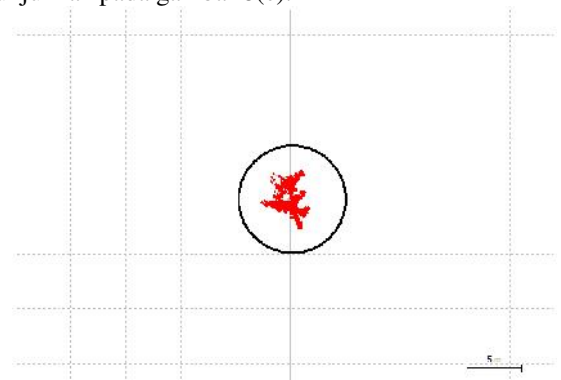
Kesalahan pengukuran posisi absolut dari *receiver* Cibinong pada tanggal 9 Januari, ditunjukkan pada gambar 8.

Pada tanggal tersebut kejadian sintilasi ionosfer sangat minimum seperti ditunjukkan pada gambar 8(a) dimana nilai indeks sintilasi $S_4 < 0.2$. Hasil analisis posisi *receiver* selama jejak rekam 24 jam pengamatan pada Gambar 8(a) timur-barat (E-W) menunjukkan tingkat kesalahan pengukuran posisinya dibawah 2 meter.



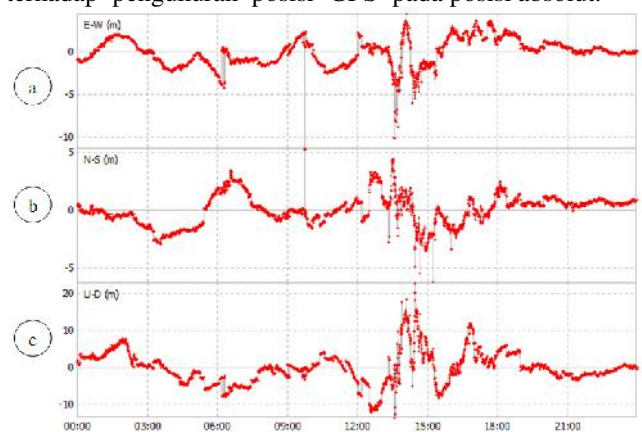
Gambar 8 Kesalahan pengukuran posisi absolut dari *receiver* 9 Januari

Kemudian gambar 10(b) analisis posisi utara-selatan (N-S) dengan tingkat kesalahan juga dibawah 2 meter. Sedangkan kesalahan vertikal mencapai 10 meter ditunjukkan pada gambar 8(c).



Gambar 9. Kesalahan pengukuran dari data *Ground track* 9 Januari

Pada gambar 9 adalah kesalahan pengukuran posisi dari data *ground track* selama 24 jam pengamatan posisi absolut *receiver* pada tanggal 9 Januari 2013 dimana terjadi sintilasi lemah sehingga akurasi posisinya masih dibawah 5 meter. Batas kesalahan/error maksimal, diambil 5 meter dengan ditunjukkan tanda lingkaran. Artinya dengan kondisi tersebut, kejadian sintilasi ionosfer tidak terlalu berpengaruh terhadap pengukuran posisi GPS pada posisi absolut.



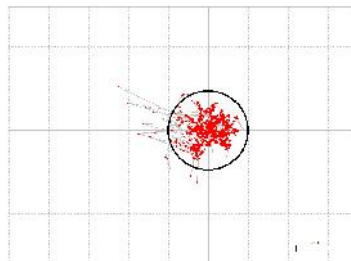
Gambar 10. Kesalahan pengukuran posisi absolut 9 April

Kesalahan pengukuran posisi absolut dari *receiver* Cibinong pada tanggal 9 April, ditunjukkan pada gambar 10. Pada tanggal tersebut kejadian sintilasi ionosfer kuat terjadi pada jam 14.00 UT hingga 17.00 UT atau sekitar pukul 21:00 WIB hingga 24:00 WIB dengan indeks sintilasi seperti ditunjukkan ada gambar 5 dimana nilai indeks sintilasi $S_4 > 0.5$. Hasil analisis

posisi untuk tanggal 9 april ditunjukkan pada gambar 10(a) dengan kesalahan timur-barat (E-W) pada saat posisi *receiver* atau penerima selama jejak rekam 24 jam pengamatan menunjukkan tingkat kesalahan posisinya mencapai 10 meter.

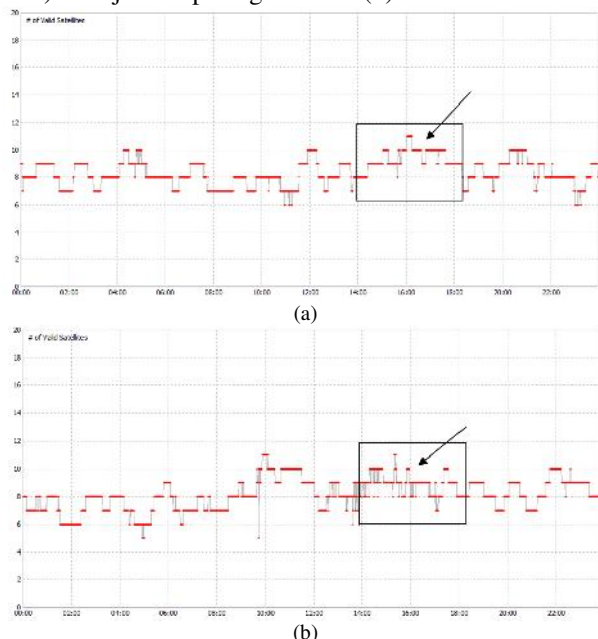
Kemudian gambar 10(b) analisis posisi utara-selatan Kemudian gambar 10(b) analisis posisi utara- selatan (N-S) dengan tingkat kesalahan mencapai 5 meter. Sedangkan kesalahan vertikal mencapai 20 meter yang ditunjukkan pada gambar 10(c).

Pada gambar 11 adalah kesalahan pengukuran dari data *ground track* posisi selama 24 jam pengamatan posisi absolut *receiver* pada tanggal 9 April 2013. Batas kesalahan/error maksimal, diambil 5 meter dengan ditunjukkan pada tanda lingkaran. Pada gambar, beberapa *ground track* keluar dari batas lingkaran dan kesalahan *ground track* mencapai 12 meter. Kesalahan yang mencapai 12 meter dapat mempengaruhi informasi pengukuran posisi yang diterima oleh *receiver*.



Gambar 11 Kesalahan pengukuran dari data *Ground track* GPS 9 April

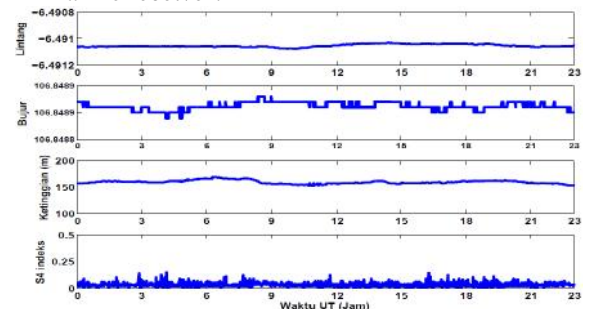
Bila dilihat dari satelit yang tertangkap sinyalnya oleh *receiver* saat terjadi sintilasi maupun saat sintilasi lemah diperlihatkan pada gambar 12. Gambar 12(a) adalah jumlah satelit valid yang terlacak oleh penerima dalam pengukuran posisi absolut pada tanggal 9 Januari (saat sintilasi lemah) dan 9 April (saat terjadi sintilasi kuat) ditunjukkan pada gambar 12(b).



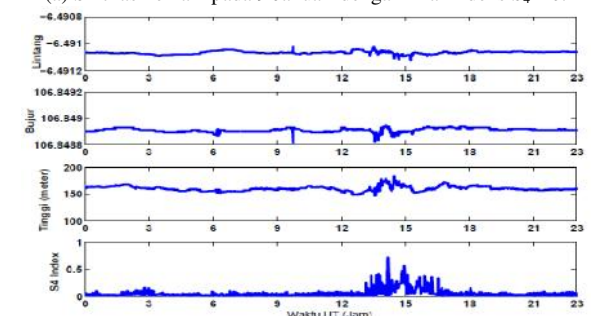
Gambar 12 Jumlah satelit valid yang tertangkap oleh *receiver* dalam pengukuran posisi absolut pada (a) saat sintilasi lemah dan (b) saat terjadi sintilasi kuat

Pada gambar yang ditandai dengan kotak hitam menunjukkan *range* waktu pada hari itu dimana sintilasi ionosfer terjadi. Kesalahan pengukuran yang

terjadi pada 9 April disebabkan karena jumlah satelit yang berkontribusi pada pengukuran posisi absolut lebih sedikit daripada saat sintilasi lemah seperti pada tanggal 9 Januari. Total satelit pada tanggal 9 Januari dalam *range* waktu jam 14.00 UT hingga 17.00 UT atau sekitar pukul 21:00 WIB hingga 24:00 WIB adalah 4541 satelit yang valid. Sedangkan total satelit pada tanggal 9 April dalam *range* waktu sekitar pukul 14:00 UT hingga 17:00 UT atau sekitar pukul 21:00 WIB hingga 24:00 WIB adalah 4322 satelit yang valid. Karena adanya sintilasi ionosfer yang terjadi pada tanggal 9 April, banyak sekali satelit GPS yang tidak tertangkap sinyalnya pada *receiver* yang kemungkinan besar terjadi akibat terjadinya *loss of lock*, *cycle slip* ataupun gangguan seperti fading pada daya sinyal satelit yang dikirimkan ke *receiver*.



(a) Sintilasi lemah pada 9 Januari dengan nilai indeks $S_4 > 0.2$



(b) Sintilasi kuat pada 9 April dengan nilai indeks $S_4 > 0.5$

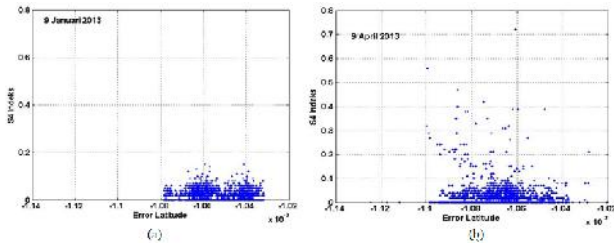
Gambar 13. Kesalahan pengukuran posisi GPS absolut (a) Akurasi posisi untuk lintang (*latitude*), bujur (*longitude*), dan ketinggian (*altitude*)

Gambar 13 menunjukkan data posisi yang dilaporkan oleh GPS BAKO Badan Informasi Geospasial Stasiun Tetap Cibinong pada tanggal 9 Januari dan 9 April 2013. Pada contoh kasus tanggal 9 Januari gambar 13(a) saat indeks sintilasi $S_4 < 0.2$, tidak menunjukkan gangguan akurasi pada lintang, bujur dan ketinggiannya. Sedangkan pada gambar 13(b) menunjukkan adanya gangguan akurasi baik pada lintang, bujur, maupun ketinggiannya ketika sintilasi kuat terjadi sekitar pukul 14:00 UT hingga 17:00 UT atau sekitar pukul 21:00 WIB hingga 24:00 WIB.

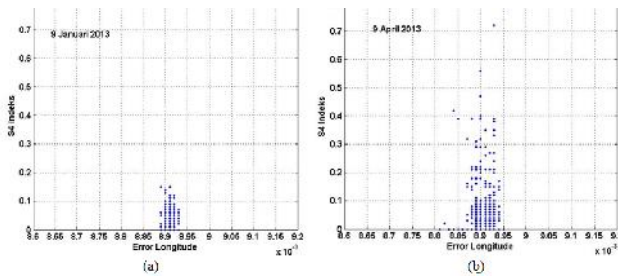
Dengan merujuk pada data gambar 8, diketahui bahwa indeks sintilasi S_4 saat itu mencapai 0.75. Pada analisa ini, nilai indeks sintilasi S_4 tertinggi diukur oleh penerima untuk setiap satelit dengan sudut elevasi $> 30^\circ$ terhadap waktu. Jadi, dalam semua kasus dapat disimpulkan bahwa kejadian sintilasi tidak dapat diprediksi, karena sintilasi tidak selalu muncul setiap hari dan pengaruhnya terhadap kesalahan pengukuran posisi dapat terjadi bila nilai indeks sintilasi $S_4 > 0.5$.

Pada Gambar 14 menunjukkan kesalahan pengukuran posisi garis lintang (*latitude*) berdasarkan pengaruh dari sintilasi ionosfer yang direpresentasikan

oleh nilai indeks S_4 . Titik posisi penerima GPS Cibinong berada pada lintang dan bujur (-6.49° LS, 106.84° BT). Saat terjadi sintilasi lemah dengan nilai indeks $S_4 < 0.2$ pada 9 Januari kesalahan pengukuran posisi garis lintangnya mengalami pergeseran ke arah selatan sebesar -0.00103° dari -6.49106° LS bergeser ke -6.49103° BT. Sedangkan pada 9 April saat indeks sintilasi $S_4 > 0.5$ kesalahan pengukuran posisi garis lintangnya mengalami pergeseran mencapai -0.0011° yang semakin ke arah selatan dari posisi sebenarnya.

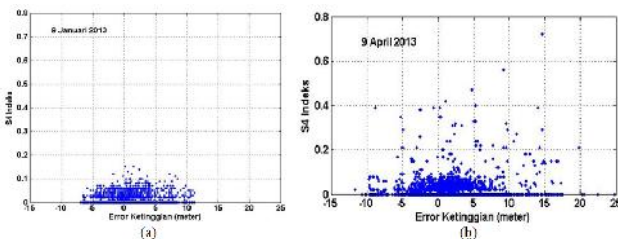


Gambar 14. Kesalahan pengukuran posisi pada garis lintang (*latitude*) dengan melihat variasi nilai indeks S_4 (a) saat terjadi sintilasi lemah pada 9 Januari dan (b) sintilasi kuat pada 9 April 2013



Gambar 15. Kesalahan pengukuran posisi pada garis bujur (*longitude*) dengan melihat variasi nilai indeks S_4

Pada Gambar 15 menunjukkan kesalahan pengukuran posisi garis bujur (*longitude*) berdasarkan pengaruh dari sintilasi ionosfer yang direpresentasikan oleh nilai indeks S_4 . Saat terjadi sintilasi dengan nilai indeks $S_4 < 0.2$ kesalahan pengukuran posisi garis bujurnya bergeser 0.0088° ke arah timur dari posisi sebenarnya 106.84491° BT bergeser ke 106.83598° BT. Sedangkan saat sintilasi kuat dengan nilai indeks $S_4 > 0.5$ kesalahan pengukuran posisi garis bujurnya mengalami pergeseran mencapai 0.00894° ke arah timur dari posisi sebenarnya 106.84491° BT bergeser ke 106.83597° BT.



Gambar 15. Kesalahan pengukuran posisi ketinggian (*altitude*) dengan melihat variasi nilai indeks S_4

Pada Gambar 16 menunjukkan kesalahan pengukuran posisi ketinggian (*altitude*) berdasarkan pengaruh dari sintilasi ionosfer yang direpresentasikan oleh nilai indeks S_4 . Posisi ketinggian titik Cibinong berada pada 158.11598 km, saat terjadi sintilasi dengan nilai indeks $S_4 < 0.2$ pada 9 Januari kesalahan pengukuran *altitude* atau

ketinggiannya mencapai kurang dari 5 meter. Sedangkan pada 9 April saat indeks sintilasi $S_4 > 0.5$ kesalahan pengukuran ketinggian mencapai 20 meter.

V. Penutup

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis pengaruh kemunculan sintilasi ionosfer terhadap akurasi penentuan posisi absolut pada GPS, maka dapat dibuat beberapa kesimpulan seperti berikut:

- Berdasarkan variasi harian dan musiman kemunculan sintilasi ionosfer dapat disimpulkan :
 - Dengan melihat kemunculan sintilasi ionosfer harian disimpulkan bahwa, sintilasi terjadi setelah matahari terbenam karena munculnya gelembung plasma (*plasma bubble*) yang menyebabkan ketidakteraturan kerapatan elektron di lapisan ionosfer.
 - Berdasarkan kemunculan sintilasi ionosfer secara musiman, sintilasi didominasi pada bulan equinox. Hal ini disebabkan, pengaruh aktivitas matahari pada lapisan F daerah ekuator. Peningkatan sintilasi ionosfer di musim equinox terkait dengan terminator matahari (solar terminator) dan meridian medan magnet.
- Berdasarkan hasil analisis pengaruh kemunculan sintilasi ionosfer terhadap akurasi penentuan posisi absolut pada GPS dapat disimpulkan bahwa:
 - Dengan melihat kesalahan pengukuran posisi absolut dan data GPS *ground track* selama 24 jam pengamatan posisi absolut dari *receiver* Cibinong pada tanggal 9 Januari didapatkan kesalahan pengukuran posisi oleh *receiver* dibawah 5 meter. Artinya walaupun saat itu terjadi sintilasi, *receiver* masih mampu menginduksi kesalahan pengukuran yang dihasilkan.
 - Dengan melihat *visible* satelit yang terlacak oleh *receiver* banyak sekali satelit GPS yang tidak tertangkap sinyalnya pada *receiver*, hal ini kemungkinan besar disebabkan terjadinya *loss of lock* yaitu penerima kesulitan melakukan penguncian sinyal satelit.
 - Dari analisis kesalahan pengukuran posisi pada garis lintang (*latitude*), bujur (*longitude*), dan ketinggian (*altitude*) terhadap variasi nilai indeks S_4 , dapat disimpulkan bahwa kejadian sintilasi kuat yang dinyatakan dengan nilai indeks $S_4 > 0.5$ dapat mempengaruhi akurasi pengukuran posisi absolut pada GPS.
 - Dengan diketahuinya kemunculan sintilasi yang kuat terjadi pada sore hari hingga tengah malam dan didominasi dibulan ekuinoks, maka mitigasi pengaruh kemunculan sintilasi kuat terhadap akurasi posisi dapat dilakukan dengan cara menghindari pengukuran GPS yang memerlukan ketelitian tinggi pada waktu-waktu tersebut untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih baik.
 - Fenomena sintilasi kemunculannya tidak dapat diprediksi, karena dari hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak setiap hari kemunculan sintilasi kuat terjadi walaupun pada bulan ekuinoks.

B. Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan pada skripsi ini, saran yang dapat diberikan adalah:

1. Pengembangan penelitian ini dapat dilakukan dengan menganalisa pengaruh kemunculan sintilasi ionosfer terhadap akurasi penentuan posisi GPS dengan mode kinematik (*receiver* bergerak), *rapid static*, *pseudo kinematic* atau mode yang lain. Misal, metode *differential positioning* yaitu dengan menggunakan 2 *receiver*, untuk melihat seberapa besar metode differensial mampu mengatasi efek sintilasi.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Rizal, Mochammad *et al.* 2008. *Analisa Nilai TEC (Total electron content) Pada Lapisan ionosfer dengan Menggunakan Data Pengamatan GPS Dua Frekuensi* Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- [2] Husin, Asnawi. "Fenomena Sintilasi Ionosfer dan Pengaruhnya Terhadap Akurasi pengukuran Posisi Navigasi Satelit". *Buku Materi Diseminasi Riset Ionosfer Untuk Navigasi dan Penentuan Posisi Berbasis Satelit*. Hal. 33 | Juli 2013. Bandung: Lapan.
- [3] Husin, Asnawi. "Dampak Sintilasi Ionosfer Pada Akurasi Navigasi dan Posisi GNSS". *Buletin Cuaca Antariksa* Vol. 2/No.4 | Oktober – Desember 2013.
- [4] Husin, Asnawi. "Analisis Statistik Kemunculan Sintilasi Ionosfer Daerah Lintang Rendah Indonesia Berdasarkan Data Pengamatan Di Stasiun Kototabang ". *Majalah Sains dan Teknologi Dirgantara* Vol. 8/No.2 | Juni 2013.
- [5] Abidin, H.Z. 2006. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [6] Seeber, G. 1993. *Sattelite Geodesy, Foundations, Methods, and Applications*. Walter de Gruyter, Berlin.
- [7] SOPAC (*Scripps Orbit and permanent Array Center*) <http://sopac.ucsd.edu/> (diakses, 23 April 2014).
- [8] Arrasid, Hasbi. 2014. Laporan Praktik Kerja. *Pembuatan Peta Sintilasi Ionosfer Menggunakan Data GISTM*. Bandung: Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional.
- [9] Husin, Asnawi. "Fenomena Sintilasi Ionosfer dan Pengaruhnya Terhadap Akurasi pengukuran Posisi Navigasi Satelit". *Buku Materi Diseminasi Riset Ionosfer untuk Navigasi dan Penentuan Posisi Berbasis Satelit*. 2013.
- [10] Spilker Jr., J.J. 1996. "GPS Signal Structure and Theoretical Performance." *In Global Positioning System: Theory Applications*, Volume I, Chapter 3, Edited by B.W. Parkinson et al., American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, D.C., pp. 57-119.